

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-242512

(43)公開日 平成10年(1998)9月11日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平9-39345

(22)出願日 平成9年(1997)2月24日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区彌川町72番地

(72)発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

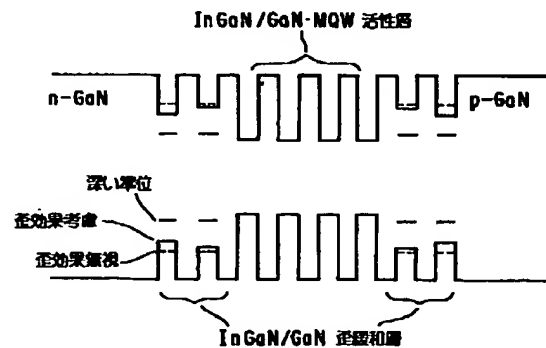
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 半導体発光装置

(57)【要約】

【課題】 Inを含むMQW活性層とガイド層との界面に生じる格子不整合を緩和し、低しきい値電流密度、低電圧動作の半導体発光装置を提供する。

【解決手段】 活性層とガイド層との界面近傍において活性層を構成する井戸層のIn組成を下げることにより、MQW活性層の発光効率を高める歪み緩和層を形成することができる。また活性層とガイド層との界面近傍において活性層を構成すると障壁層のIn組成を下げた組成変調層を導入することにより、界面近傍での井戸層と障壁層のバンドギャップ差を活性層中心領域のバンドギャップ差より大としてキャリアオーバーフロー効果を防止し、Ga<sub>0.9</sub>N系レーザ装置のしきい値電流密度と動作電圧を低減することができる。さらに本発明を用いればAlGa<sub>0.9</sub>Nキャップ層のAl組成を低組成にできるため、キャップ層による動作電圧の増加を最小にすることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 障壁層と井戸層とが交互に積層された超格子からなる活性層を有する半導体発光装置において、前記超格子からなる活性層は、前記超格子の中央部の障壁層及び井戸層とは少なくとも組成及び厚さのいずれかが異なる、少なくとも1つの障壁層及び井戸層のいずれかを終端部に含むものであることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】 前記超格子からなる活性層は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x + y \leq 1$ ) からなる障壁層と、 $\text{In}_x\text{Al}_z\text{Ga}_{1-x-z}\text{N}$  ( $x < z$ ,  $0 < z \leq 1$ ,  $0 \leq w \leq 1$ ,  $0 \leq z + w \leq 1$ ) からなる井戸層とが交互に積層された超格子からなるものであり、前記組成は少なくとも  $x$  及び  $z$  のいずれか1つであることを特徴とする請求項1記載の半導体発光装置。

【請求項3】 ガイド層及びクラッド層及び障壁層と井戸層とが交互に積層された超格子からなる活性層を有する半導体発光装置において、前記超格子からなる活性層は、前記ガイド層及び前記クラッド層のいずれかと隣接する領域に、前記活性層の中央部と比べて前記井戸層と前記障壁層との平均組成が前記ガイド層及び前記クラッド層のいずれかの組成に近い積層領域を含むことを特徴とする半導体発光装置。

【請求項4】 ガイド層及びクラッド層及び障壁層と井戸層とが交互に積層された超格子からなる活性層を有する半導体発光装置において、前記超格子からなる活性層は、前記ガイド層及び前記クラッド層のいずれかと隣接する領域に、前記活性層の中央部と比べて前記井戸層と前記障壁層のバンドギャップの差を広げた積層領域を含むことを特徴とする半導体発光装置。

【請求項5】 前記超格子構造からなる活性層は、前記ガイド層及び前記クラッド層のいずれかとの間に、キャップ層を具備することを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1つに記載の半導体発光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体発光装置に係り、特に低動作電圧及び低しきい値電流密度を有するGaN系半導体半導体発光装置に使用されるものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来GaN系半導体発光装置は、Mgの添加によりp型GaN（以下p-GaNと略称する）の結晶成長に成功して以来、紫外及び青色領域の可視半導体レーザ及び半導体発光ダイオード（以下半導体レーザをLD、発光ダイオードをLEDと略称）として商品化が進められてきた。

【0003】 GaN系LD、LEDの主な問題点は動作電圧が高いこと、及びLD発光のしきい値電流密度が大

きく活性層の発光効率が本来の値を示さないことである。その理由はLDの場合、SCH (Separate Confinement Heterostructure) 型のMQW (Multi Quantum Well) 量子井戸構造を有する活性層（以下MQW活性層と略称）に大きな歪みが存在し、活性層の結晶の品質が低下すること、及び特にMQW活性層の最初の数個の井戸層と最後の数個の井戸層に大きな歪みが発生し、前記活性層の中央部に比べて両端部の光放出と吸収が長波長側にずれることのためである。

【0004】 ガイド層及びクラッド層から加わる歪みは、前記外側の井戸層で緩和され、MQW活性層の中央部に加わる歪みを低減する。歪み量が大い外側の井戸層は中央部に比べてバンドギャップが小となり、MQW活性層からの光出力が吸収されて減衰しGaN系LDのしきい値電流密度が増加する。

【0005】 また前記ガイド層及びクラッド層から加わる歪みにより、外側の井戸層には格子欠陥が発生するので、この欠陥により生じた欠陥準位を通じて活性領域に注入された電子、正孔が再結合により消滅しGaN系LDの発光効率が低下する。同様な問題は均一な活性層を有するGaN系LEDについてもみられる。

【0006】 これらの問題点を回避するために、従来MQW活性層の井戸層の数を例えば20個以上に増加する方法がとられてきた。このように井戸層の数を増加すれば、外側の井戸層の光吸収や電子、正孔の再結合による光出力の減衰効果を薄めることができる。

【0007】 このほか、MQW活性層を構成する井戸層と障壁層との間にはヘテロ界面が形成され、このヘテロ界面には格子不整合によりある程度の欠陥が発生する。井戸層の数が多くなれば、MQW活性層に井戸層と障壁層の多くの界面が含まれることになり、界面における欠陥の発生によりMQW活性層中に再結合中心が導入され光利得が減少する。

【0008】 このためGaN系LDにおいては、MQW活性層中でLD発光に必要な十分な利得を得るため、井戸層の数を増加しなければならないと考えられてきた。しかし、MQWの井戸数が多ければ電子、正孔の輸送が妨げられ、実際にLD発光に寄与する井戸層の数は2個～3個程度に限定される。従って、例えばIII-V族のMQW活性層を有するLDにおいて、最高の発光効率が得られる井戸層の数は大抵の場合10個以下とされてきた。

【0009】 近年、高密度光ディスクの読み出し、書き込み用の短波長LDの必要性が高まりつつあるが、現在実用化されたInGaAlP系LDの発光波長はおよそ600nmであり、次世代DVDシステムに求められる波長400nm～430nmのLDを実現することは困難である。

【0010】 GaN系LD、LEDは上記の波長領域のみならず、さらに短波長の光源となりうることが知られ

ている。しかしGaN系LD、LEDは、従来の材料に比べて製造方法に多くの技術的問題点が含まれる。その主なものは主要材料のGaNと $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.3$ )との格子定数が異なることである。

【0011】InGaN（以下とくに必要な場合を除き、組成を示すサフィックスを省略）は通常活性層として用いられ、GaNはガイド層として用いられるが、両者の格子不整合が大きいため、活性層中のInの平均組成が10%を越えれば、活性層とガイド層の界面における歪みが大きくなる。このときp-GaNガイド層形成に必要な200℃～400℃程度の温度上昇を行えば、InGaN活性層が劣化又は破壊することが実験的に知られている。

【0012】従って通常活性層中のInの平均組成は10%以下とされるが、この場合にも活性層の劣化は存在し歩留まりが低下する。活性層の劣化は前記格子不整合によるもののほか、活性層中のInが移動または蒸発することが他の原因の1つと考えられ、このため活性層中のIn組成が不均一になり、低電圧動作のLD、LED、低しきい値電流密度のLDを得ることが困難になる。

【0013】一方Inの平均組成を下げれば電子及び正孔がLD発光に寄与する活性領域から外部に溢れるキャリアオーバーフロー効果を生じやすくなり、キャリア閉じ込めはもとより、光閉じ込めも悪くなるのでLD発光の効率向上のためには好ましくない。

【0014】このように、現状ではキャリア閉じ込めと光閉じ込めの双方から要求されるIn組成の大きい活性層を用いることができず、GaN系LD、LEDの活性層の平均In組成は10%以下（井戸層のIn組成15%以下）に限定されてきた。

【0015】MQW活性層とp型ガイド層の間にキャップ層を導入することにより、p型ガイド層形成時の昇温過程で活性層に生じる劣化を保護し、かつキャリアオーバーフローを防止する技術も開発されているが、現状では劣化を完全に防止するに至っていない。

【0016】また、GaN系LDにおいてはキャリアを構成する電子と正孔の内、電子密度が正孔密度に比べて大きいので、電子が活性層を通過してp側電極まで流れるキャリアオーバーフロー効果を生じやすく、これを防止するため前記キャップ層として $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x > 0.1$ )を用いる必要があり、キャップ層のAl組成が大きいために動作電圧が高くなるという問題があった。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、従来のGaN系LDはMQW活性層における歪みの影響を回避することを目的に、MQW活性層中の井戸数を過剰に設けていたため、LDの動作電圧としきい値電流密度が過大になるという欠点があった。

【0018】もし、MQW活性層の内部、及びその周辺層との格子定数の差による歪みの影響がなければ、井戸の数は少ない方がLD発光の効率は高くなる。本発明は上記の問題点を解決すべくなされたものであり、MQW活性層に加わる歪みの影響を除去することにより、少ない井戸数で高い発光効率を示すGaN系半導体発光装置を得ようとするものである。

【0019】従来、GaN系LD、LEDの活性層とそれに隣接するガイド層との格子不整合が大きく、このため活性層のIn組成が大きい場合には、前記活性層とガイド層との界面に歪みのエネルギーが蓄積し、前記界面領域や活性層内部に格子欠陥を発生し、高品質のLDが得られず歩留まりも悪いという問題があった。また活性層のIn組成が小さい場合には、キャリアオーバーフロー効果が生じやすく、しきい値電流密度の低いLDが実現できないという問題があった。

【0020】本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、ガイド層とMQW活性層との間に、このMQW活性層の井戸層・障壁層とは異なるIn組成または厚さを有する井戸層と障壁層とを介在させることにより、上記の相反する2つの問題を同時に解決し、歩留まりが高く高品質で、かつ、しきい値電流密度が低いGaN系LDを提供し、またLEDへの適用を図ることを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光装置は、MQW活性層とガイド層又はクラッド層と隣接する領域に、格子定数の差から生じる歪みの影響を吸収するための井戸層と障壁層を設けることに特徴がある。このようにして、MQW活性層の井戸数を増加することなく、ストライプ状の活性層全域に亘って均一なLD発光を得ることができる。

【0022】また本発明の半導体発光装置は、MQW活性層とガイド層又はクラッド層と隣接する領域に、前記MQW活性層とは組成が異なる井戸層と障壁層を設け、その井戸層と障壁層の平均組成が隣接するガイド層又はクラッド層に近くなるようにして、ガイド層又はクラッド層と前記MQW活性層との界面に生ずる歪みを減少させ、また同時にMQW活性層を構成する井戸層と障壁層のバンドギャップ差を界面に近づけるに従って広げることにより、キャリアオーバーフロー効果を防止することに特徴がある。

【0023】具体的には本発明の半導体発光装置は、障壁層と井戸層とが交互に積層された超格子構造からなる活性層を有し、前記活性層は、前記超格子の中央部の障壁層及び井戸層とは少なくとも組成及び厚さのいずれかが異なる、少なくとも1つの障壁層及び井戸層のいずれかを終端部を含むものであることを特徴とする。

【0024】好ましくは前記超格子構造からなる活性層は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq$

1、 $0 \leq x+y \leq 1$ ) かなる障壁層と、 $\text{In}_x \text{Al}_{1-x} \text{Ga}_{1-x-w} \text{N}$  ( $x < z$ ,  $0 < z \leq 1$ ,  $0 \leq z+w \leq 1$ ) かなる井戸層とが交互に積層された超格子かなるものであり、前記組成は少なくともxおよびzのいずれか1つであることを特徴とする。

【0025】本発明の半導体発光装置は、超格子構造かなる活性層が、ガイド層及びクラッド層のいずれかと隣接する領域に、活性層の中央部と比べて井戸層と障壁層との平均組成がガイド層及びクラッドのいずれかの組成に近い積層領域を含むことを特徴とする。

【0026】また本発明の半導体発光装置は、超格子構造かなる活性層が、ガイド層及びクラッド層のいずれかと隣接する領域に、活性層の中央部と比べて井戸層と障壁層のバンドギャップの差を広げた積層領域を含むことを特徴とする。

【0027】また好ましくは本発明の半導体発光装置は、超格子構造かなる活性層が、ガイド層及びクラッド層のいずれかとの間に、キャップ層を具備することを特徴とするものである。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。はじめに各実施の形態に共通する事項について具体的に説明する。現在開発されているGa<sub>0.9</sub>N系LDの断面構造を図11に示す。Ga<sub>0.9</sub>N系LDは、サファイア基板1、n-GaNコンタクト層2、Ti/Au下部電極3、n-AlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層4、n-GaNガイド層5、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/GaNかなるMQW活性層6（以下InGa<sub>0.1</sub>N/GaN・MQW活性層と略称）、p-GaNガイド層7、p-AlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層8、p-GaNコンタクト層9、SiO<sub>2</sub>膜10、Ni/Au上部電極11からなっている。

【0029】活性層は通常In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/GaN ( $0 < x < 0.3$ ) の井戸数が20程度のMQW活性層により構成されている。AlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層はバンドギャップの値が大きく、キャリア閉じ込めと光出力の活性層への閉じ込めを行うことができる。

【0030】図11に示すGa<sub>0.9</sub>N系LDは、LDを構成する多層構造がサファイア基板上に形成されている。またLD発光のしきい値電流密度を低減するため、SiO<sub>2</sub>絶縁膜10を用いてストライプ状の電流狭窄構造を形成する。このほか、例えば埋め込みストライプ型のような他の電流狭窄構造を用いることもできる。

【0031】図12は前記Ga<sub>0.9</sub>N系LDの活性領域近傍の詳細を示すバンド構造図である。簡単のため井戸数は5個の場合が示されている。通常の2重ヘテロ接合型LDの構造から、図12に示すようなMQW活性層を有するGa<sub>0.9</sub>N系LDの構造を類推することができる。

【0032】しかし、活性領域とこれを囲む光ガイド領域との間には格子定数の差があるので、これがMQW活性層を有するLDの構造を制限する。Ga<sub>0.9</sub>N系LDを構

成する材料の組成とバンドギャップ、及び格子定数との間の関係を図13に示す。

【0033】Ga<sub>0.9</sub>N系LDの活性層はIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nを用いて形成し、ガイド層は通常Ga<sub>0.9</sub>N、クラッド層はGa<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>Nを用いて形成される。図13においてxを1から0まで変化すれば、図のGa<sub>0.9</sub>Nの点とIn<sub>0.1</sub>Nの点とを結ぶ直線に沿ってバンドギャップと格子定数とが変化し、yを1から0まで変化すればGa<sub>0.9</sub>Nの点とAl<sub>0.1</sub>Nの点とを結ぶ直線に沿ってバンドギャップと格子定数とが変化する。

【0034】LDの発光効率を高めるためには、活性層と導波層との間及び導波層とクラッド層との間に一定のバンドギャップの差を設けることが必要となる。図13からGa<sub>0.9</sub>NとIn<sub>0.1</sub>Nとを結ぶ直線の横軸に対する傾斜は、Ga<sub>0.9</sub>NとAl<sub>0.1</sub>Nとを結ぶ直線の横軸との傾斜に比べて大きいので、同程度のバンドギャップの差に対して、Ga<sub>0.9</sub>N導波層とInGa<sub>0.1</sub>N活性層との間の格子定数の差の方が、Ga<sub>0.9</sub>N導波層とAlGa<sub>0.3</sub>Nクラッドとの間の格子定数の差に比べて大きいことがわかる。なお図13では、一例としてIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N活性層の組成x=0.2の場合の活性層とGa<sub>0.9</sub>N導波層との間に生じる格子不整合の程度が示されている。

【0035】このように、InGa<sub>0.1</sub>N活性層に対してその周辺材料から加わる歪みに着目すれば、前記InGa<sub>0.1</sub>N活性層に隣接するGa<sub>0.9</sub>N導波層によるものが大きく、これに比べてAlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層の組成変化から加わるものは小さい。従ってInGa<sub>0.1</sub>N/GaN・MQW活性層についても、同様にGa<sub>0.9</sub>Nガイド層との格子不整合によって前記MQW活性層とガイド層の界面に歪みが蓄積されることを図13から読み取ることができる。

【0036】上記の説明では、MQW活性層の上下に隣接してGa<sub>0.9</sub>Nガイド層が形成され、さらにその上下に隣接してAlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層が形成される場合についてのべたが、Ga<sub>0.9</sub>N系LD、LEDの構造は必ずしもこれに限定されるものではなく、活性層にクラッド層が隣接する場合や、均一な活性層にガイド層、クラッド層が隣接する場合等、種々の組み合わせが存在する。

【0037】例えばMQW活性層にAlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層が直接隣接する場合についても、図13から両者の格子不整合が大きく、その界面に歪みが蓄積するは明らかである。また活性層がMQW構造でなくて均一なInGa<sub>0.1</sub>Nであっても、Ga<sub>0.9</sub>N導波層との界面に歪みが蓄積されることがわかる。

【0038】格子歪み零のLD、LEDを形成する方法として、例えばIn<sub>0.1</sub>Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1-x-w</sub>N ( $0 \leq z+w \leq 1$ ) のような4元化合物を用いる方法がある。このときzとwとを制御すれば、図12の3角形の範囲内において格子定数の値を変化することなくバンドギャップのみを連続的に変化することができるので、原理的には格子歪み零のLD、LEDを設計することができる。

【0039】しかし、実際には2個の組成パラメータ $z$ と $w$ とを最適条件に制御しつつ良好な結晶成長を行うことはいちじるしく困難であり、また、このような4元系化合物の材料特性も十分には解明されていないのが現状である。

【0040】従って實際上Ga<sub>N</sub>系LD、LEDの構成材料は2元、3元化合物に限定され、上記格子不整合により生じた歪みにより、MQW活性層は図14に示すような構造のものとなる。すなわちGa<sub>N</sub>導波層からの歪みにより、図12に示した無歪み状態のMQW活性層のバンド構造が変形し、外側の井戸層は中央部の井戸層に比べてバンドギャップの幅が狭くなる。

【0041】図14から、中央部の井戸層から放出された光は、歪みによりバンドギャップが縮小した外側の井戸層において吸収されることがわかる。またこのような歪みは外側の井戸層のバンド間に欠陥準位を生じ、その光吸収も無視することができない。

【0042】次に図1に基づき本発明の第1の実施の形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係る、MQW活性層を有するGa<sub>N</sub>系LDの構造を示す断面図である。上記したように、中央部の井戸層の光出力が外側の井戸層により吸収されるという問題を解決するために、InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>・MQW活性層6の上下に隣接してInGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>歪緩和層12、13を導入した。なお図2に示すように、前記歪緩和層も超格子構造を有し、MQW活性層の両端の構造を中央部と変化させたものとみなすことができる。

【0043】その他のLDの構造は図11に示したものと同様である。前記InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>歪緩和超格子12、13は、Ga<sub>N</sub>ガイド層からMQW活性層6に加わる歪みを零にするバッファ層として作用する。

【0044】MQW活性層6、歪緩和層12、13、Ga<sub>N</sub>導波層5、7、AlGa<sub>N</sub>クラッド層4、8からなる本第1の実施の形態に係るGa<sub>N</sub>系LDのバンド構造を図2に示す。但し図2においては、前記材料間の格子定数の差に基づく歪効果は考慮せず、単に材料の組成のみで決まるバンド構造を示している。

【0045】ここにMQW活性層6の井戸層となるIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの組成は $x=0.2$ であり、図1で説明した従来の典型的なGa<sub>N</sub>系LDの $x$ の値の範囲内である。MQW活性層の障壁層は、Ga<sub>N</sub>か又はIn組成の非常に小さいIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0<x<0.05$ )を用いた。

【0046】歪緩和層中の井戸層は、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $x=0.05$ )を用いて形成したが、このときIn組成 $x$ はMQW活性層の井戸層のIn組成の $1/4 \sim 1/3$ の値までのものを用いることができた。歪緩和層中の障壁層はGa<sub>N</sub>か又はIn組成の非常に小さいIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0<x<0.05$ )を用いた。図2では歪緩和層中の障壁層としてGa<sub>N</sub>を用いる場合が示されてい

る。

【0047】歪緩和層の井戸数はMQW活性層の井戸層となる材料の組成で定まる。歪緩和層の井戸層のIn組成とMQW活性層の井戸層のIn組成との比が大きい程歪み量は大きく、歪みを零にするための歪緩和層の井戸数も大きくしなければならない。しかし、前記井戸数の範囲としては2~5程度で十分な効果が得られた。

【0048】歪効果を考慮した本第1の実施の形態におけるGa<sub>N</sub>系LDのInGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>・MQW活性層、InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>歪緩和層、Ga<sub>N</sub>導波層のバンド構造を図3に示す。このように歪緩和層中の井戸層の材料が適切に選択されていれば、歪効果を考慮しても前記歪緩和層のバンドギャップはMQW活性層のバンドギャップより大きな値を維持することができる。

【0049】また歪みにより前記歪緩和層中に生じた欠陥の深い準位についても、図3に示すように、MQW活性層のバンドギャップの外側に位置することになり、欠陥の深い準位によるキャリア再結合の確率は、MQW活性層におけるキャリアの直接再結合の確率に比べて無視できることがわかった。

【0050】次に図4乃至図6に基づき、本発明の第2の実施の形態について説明する。図13から明らかなように、井戸層のIn組成は障壁層のIn組成より大きくなっている。MQW活性層は通常3から30程度の井戸層と障壁層の繰り返しから構成される。

【0051】ガイド層は通常単層のGa<sub>N</sub>からなり、またクラッド層はAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0<x \leq 0.3$ )から構成される。MQW活性層の平均In組成が10%を越えれば、MQW活性層とガイド層との界面に歪みが生じ、高品質なMQW活性層が得られないことが知られている。

【0052】図12に示すように、通常InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>・MQW活性層中では、井戸層と障壁層の組成及び膜厚は一定にされるため、井戸層の示すバンドギャップと障壁層の示すバンドギャップは活性層中でそれぞれ一定に保たれる。

【0053】図6は図4に示す構造のGa<sub>N</sub>系LDのMQW活性層及びその近傍における井戸層のIn組成、障壁層のIn組成、活性層の平均In組成、及びバンドギャップを模式的に示したものである。第2の実施の形態においては、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>NからなるMQW活性層（以下InGa<sub>N</sub>・MQW活性層と略称）を用いた場合について説明する。

【0054】井戸層のIn組成20%、厚さ2nm、障壁層のIn組成5%、厚さ4nmとすれば、このときのInの平均組成は約10%になる。このようにInの平均組成が10%に近い又はそれ以上であれば、InGa<sub>N</sub>・MQW活性層とGa<sub>N</sub>ガイド層との間に生じる歪みが過大になり、高品質のGa<sub>N</sub>系LDを得ることが困難であった。

【0055】この問題を解決するために、本第2の実施の形態において、図4に示す断面構造のGa<sub>0.5</sub>N系LDを試作した。図11の従来構造との違いはIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>NからなるMQW活性層（以下InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層と略称）6と、Ga<sub>0.5</sub>Nガイド層5、7との間に、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層6の障壁層に比べて、障壁層のIn組成が低いIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/In<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>Nからなる組成変調層（以下InGa<sub>0.5</sub>N組成変調層と略称）14、15を設け、全体として前記InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とGa<sub>0.5</sub>N導波層との界面近傍における平均In組成を減少させたことに特徴がある。

【0056】InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とその両側のGa<sub>0.5</sub>N導波層との間に形成されたInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層等のバンド構造を図5に示す。このように本第2の実施の形態においては、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とその両側のInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層を含めて、基本的にはMQW活性層の周期性が保たれ、単に障壁層の組成を変化することにより、エネルギーバンドの振幅が変調されたようになるので、前記InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とGa<sub>0.5</sub>N導波層との間に導入した層をInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層とよぶことにした。

【0057】次に本第2の実施の形態のGa<sub>0.5</sub>N系LDのしきい値電圧及びしきい値電流密度について、シミュレーションを行った結果について説明する。本シミュレーションにおいては、InGa<sub>0.5</sub>N組成変調層中の障壁層のIn組成を0%、すなわちこの障壁層をGa<sub>0.5</sub>Nであるとした。

【0058】しかし、井戸層と障壁層との材料物性に急激な変化を生じないことが高品質のLDの多層構造を得る上から望ましいので、前記障壁層をGa<sub>0.5</sub>Nとせず、Inを数%程度添加した障壁層とすることもできる。但しInGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の中心付近における障壁層のIn組成に比べれば、組成変調層中の障壁層のIn組成は大幅に減少させるようにした。

【0059】図5は、図4に示すGa<sub>0.5</sub>N系LDの活性層6と組成変調層14、15とガイド層5、7及びクラッド層4、8のバンド構造を示す模式図である。図5からInGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の両端部のInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層において、井戸層と障壁層のバンドギャップの差がMQW活性層中心付近に比べて広がる様子が示されている。

【0060】図6は図5の活性層6の近傍領域を取り出して、バンド構造と平均In組成との関連を示したものである。上記のようにInGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の両端部にInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層を導入したGa<sub>0.5</sub>N系LDは、第1の実施の形態でのべたように、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とGa<sub>0.5</sub>Nガイド層の界面での歪みの影響を緩和する作用があるばかりでなく、LD装置として次のような特性上の利点がある。

【0061】Ga<sub>0.5</sub>N系LDの動作電圧と、InGa<sub>0.5</sub>N・

MQW活性層中の井戸数との関係を図7に示す。図の実線は前記第2の実施の形態に係るInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層を有する場合であり、破線は比較のために示した組成変調層を有しない、従来のGa<sub>0.5</sub>N系LDに関するシミュレーション結果である。このシミュレーションでは、p型ガイド層、p型クラッド層のキャリア密度は共に $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ として計算を行った。なおシミュレーション結果を示す各曲線に付したパラメータは、前記InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の（井戸層のIn組成/障壁層のIn組成）を例えば（20%/5%）等として示している。

【0062】前述したようにInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層の障壁層はGa<sub>0.5</sub>N、その井戸層のIn組成は前記InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層中の井戸層のIn組成と等しくしている。シミュレーションに用いた井戸層の厚さは2nm、障壁層の厚さは4nmである。また組成変調層を含む場合、図8横軸のMQW井戸数は、MQW活性層の井戸数に組成変調層に含まれる井戸数を加えたものであり、組成変調層を含まない場合のMQW井戸数は、MQW活性層の井戸数そのものである。

【0063】図7に示すように、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層を有するGa<sub>0.5</sub>N系LDの動作電圧は井戸数の増加と共に増加する。さらに同一のパラメータの値20%/5%について比較すれば、実線で示す組成変調層を含むGa<sub>0.5</sub>N系LDの動作電圧は、MQW井戸数の増加と共に、組成変調層を含まない従来のGa<sub>0.5</sub>N系LDの動作電圧に比べて低くなることわかる。

【0064】動作電圧が低くなる理由は、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とGa<sub>0.5</sub>Nガイド層との間にInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層を含む本発明のLDでは、前記活性層と前記ガイド層の界面に前記組成変調層の障壁層が存在することにより、図6に示すように、実効的なヘテロ障壁が界面においてなだらかになるためである。

【0065】次にしきい値電流密度のMQW井戸数依存性を図8に示す。p-Ga<sub>0.5</sub>Nガイド層、p-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層のキャリア密度は共に $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ として計算を行った。その他のシミュレーション条件や、各曲線に付したパラメータの意味は図7と同様である。

【0066】図8に示すように、MQW活性層を有するGa<sub>0.5</sub>N系LDのしきい値電流密度もMQW井戸数の増加と共に増加する。しかし井戸層/障壁層のIn組成比が20%/5%の場合、組成変調層を含むGa<sub>0.5</sub>N系LDは組成変調層を含まない従来のGa<sub>0.5</sub>N系LDに比べてしきい値電流密度が最大30%も減少することがわかる。

【0067】このことから、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の両端にIn組成の低い障壁層を設けて、組成変調層として作用する前記障壁層のバンドギャップの値をMQW活性層内の障壁層より拡大すれば、キャリアのオーバーフロー効果が抑制され、かつしきい値電流密度が大幅に減少することがわかる。

【0068】図7と図8に破線で示した組成変調層を含まない従来のMQW活性層のシミュレーション結果と比較すれば、In組成比の変化に対して、同一井戸数における動作電圧と動作電流密度との大小関係が逆転しており、従来のGa<sub>0.5</sub>N系LDにおいて、動作電圧の低減としきい値電流密度の低減とは互いに相反する課題であったことがわかる。

【0069】これに対して組成変調層を含む本第2の実施の形態におけるMQW活性層では、動作電圧低減としきい値電流密度の低減とが同時に達成されることに大きな特徴がある。すなわち、従来相反する要求として解決できなかった低電圧、低しきい値電流密度で動作するという、実用上もっとも重要な課題が本第2の実施の形態に示した組成変調層を含むMQW活性層により始めて達成されることが明らかになった。

【0070】次に図9に基づき本発明の第3の実施の形態について説明する。従来しきい値電流密度を下げるためには、活性層とp型ガイド層との間にAlGa<sub>0.5</sub>Nキャップ層をはさむ必要があったが、AlGa<sub>0.5</sub>Nキャップ層はしきい値電流密度の低減には効果的であるが、動作電圧低減の目的に対しては不利である。

【0071】Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nキャップ層をInGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層とp-GaNガイド層との間に介在させ、前記キャップ層のAl組成xを変化させた場合について、Ga<sub>0.5</sub>N系LDの動作電圧のMQW井戸数依存性をシミュレーションにより求めた結果を図9に示す。このシミュレーションに用いたGa<sub>0.5</sub>N系LDの構造は、活性層がInGa<sub>0.5</sub>N・MQWであること、またx>0の場合、前記InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層6とp-GaNガイド層7との間にAlGa<sub>0.5</sub>Nキャップ層が存在すること

が図11に示すGa<sub>0.5</sub>N系LDと異なる。  
 【0072】前記シミュレーションに用いたLDの主要部は、n-GaNコンタクト層2 (3×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ0.1 μm)、n-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層4 (1×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ0.3 μm)、アンドープのi-GaNガイド層5 (厚さ0.1 μm)、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N (2.5 nm) / In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N (5 nm)・MQW活性層6、p型又はアンドープi型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nキャップ層 (p型の場合1×10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ20 nm)、p型又はアンドープi型Ga<sub>0.5</sub>Nガイド層7 (p型の場合1×10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ0.1 μm)、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層8 (1×10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ0.3 μm)、p-GaNコンタクト層9 (1×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>、厚さ0.1 μm) からなっている。

【0073】図9に示すように、キャップ層を加えればキャップ層がない場合に比べて動作電圧が増加する。キャップ層のAl組成xを増加すれば、前記キャップ層の障壁高さが増加するので動作電圧は増加することがわかる。キャップ層とガイド層とを導電性とした場合とアンドープi型とした場合との差は小さいが、導電性とする

方がやや動作電圧を低くすることができる。

【0074】第3の実施の形態におけるGa<sub>0.5</sub>N系LDは、前記第2の実施の形態で説明した組成変調層のしきい値電流密度の低減効果と、前記キャップ層のしきい値電流密度の低減効果との相乗効果により動作電圧の増加を抑制しつつ最適化を図り、低消費電力のGa<sub>0.5</sub>N系LDを得ようとするものである。

【0075】すなわち第2の実施の形態の組成変調層を含むGa<sub>0.5</sub>N系LD作製する際、前記組成変調層とこれに隣接する導波層との間にさらに前記キャップ層を用いられ、しきい値電流密度低減のため従来求められていたAl組成の大きいAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0.1 ≤ x ≤ 0.2) キャップ層を用いる必要がなくなり、Al組成の小さいAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (x ≤ 0.05) を用いることができるので、図9のシミュレーション結果から動作電圧低減に極めて効果的であることがわかる。このときキャップ層の作用として、このキャップ層がない場合に比べてしきい値電流密度がさらに低下することはいうまでもない。

【0076】次に図10に基づき、本発明の第4の実施の形態について説明する。本第4の実施の形態におけるGa<sub>0.5</sub>N系LDは、前記第1の実施の形態で説明した歪緩和層の作用と前記第2の実施の形態で説明した組成変調層の作用とを組み合わせることにより、両者の利点を相乗的に発揮しようとするものである。

【0077】すなわち図10に示すように、InGa<sub>0.5</sub>N・MQW活性層の両側に隣接してInGa<sub>0.5</sub>N組成変調層を形成し、さらにその外側に隣接してInGa<sub>0.5</sub>N/GaN歪緩和層を形成し、その両端に隣接してGa<sub>0.5</sub>N導波層を形成する。

【0078】このようにすれば、前記歪緩和層及び前記組成変調層の作用により、Ga<sub>0.5</sub>N導波層とInGa<sub>0.5</sub>NからなるMQW活性層との間の格子定数差に基づく歪みを前記MQW活性層中でほぼ零とすることができ、また歪み緩和の際、前記歪緩和層に生じた欠陥準位やバンドギャップの変化を、全てMQW活性層の井戸層のバンドギャップの外側の範囲内とすることにより過剰吸収を除外することができる。

【0079】またInGa<sub>0.5</sub>Nからなる組成変調層の作用として、さらに歪低減に役立つことのほか、キャリアオーバーフロー効果を抑制し、Ga<sub>0.5</sub>N系LDのしきい値電流密度を大幅に低減することができる。さらに動作電圧を高めることなくしきい値電流密度を低減するには、第3の実施の形態にのべたキャップ層を組み合わせることが有効であることはいうまでもない。

【0080】なお本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。上記の実施の形態において、歪緩和層及び組成変調層はいずれもMQW構造に形成され、歪緩和層は主として井戸層のIn組成をMQW活性層の井戸層よりも小さくし、また組成変調層は主として障壁層のI



n組成を前記MQW活性層の障壁層よりも小さくして、それぞれバンドギャップの値を制御することによりその機能を達成している。

【0081】また組成変調層の機能として、障壁層と井戸層の組成と厚さを調整し、これらの平均組成を隣接するガイド層やクラッド層に近付けることをのべた。しかしMQW又は井戸数が1つのSQW (Single Quantum Well) 構造において、とくに井戸層の厚さが極めて小さい領域では、井戸層の実効的なバンドギャップの値は井戸層の組成ばかりでなく井戸層の厚さのみによっても変化することができる。

【0082】従って前記歪緩和層や組成変調層と同様の機能をMQWを構成する層の組成のみならず、厚さを変化することによっても達成することができる。このとき厚さとIn組成とを共に変化することにより、機能の最適化が図れることはいうまでもない。

【0083】また上記の実施の形態において、活性層、歪緩和層及び組成変調層の構造として、井戸層/障壁層が  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N} / \text{GaN}$  ( $0 < x \leq 1$ ) または  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N} / \text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{N}$  ( $0 < x \leq 1, x > y, 0 < y \leq 1, 0 \leq x + y \leq 1$ ) からなるMQWである場合について説明したが、 $\text{In}_x \text{Al}_y \text{Ga}_{1-x-y} \text{N} / \text{In}_z \text{Al}_w \text{Ga}_{1-z-w} \text{N}$  ( $0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x + y \leq 1$  及び  $x > z, 0 < z \leq 1, 0 \leq w \leq 1, 0 \leq z + w \leq 1$ ) からなるMQWを用いる場合にもInの組成を制御することにより、同様の機能を得ることができる。

【0084】また本発明はMQW活性層を有するGaN系LEDについて説明したが、必ずしもGaN系LEDに限定されるものではない。MQW活性層を有する化合物半導体からなる発光装置であれば全て本発明を適用することができる。また例えば本発明の歪緩和層はMQW活性層に隣接して形成することに限定されるものではなく、従来の均一な組成の活性層を有するGaN系LEDに対しても同様の機能を発揮することができる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々に変形して実施することができる。

【0085】

【発明の効果】上述したように本発明の半導体発光装置によれば、活性層とガイド層または活性層とクラッド層との間の格子不整合を緩和し、界面における歪みを減少させ、低電圧、低しきい値電流密度で動作する高品質なGaN系半導体発光装置を高い歩留まりで作製することが可能となる。特に活性層の平均In成が10%以上の場合に本発明の半導体発光装置が優れた効果を発揮する。

【0086】また活性層とガイド層との界面に近い領域において、活性層中の井戸層及び障壁層のバンドギャップの差を拡大することにより、キャリア閉じ込めの効率を高めてキャリアオーバーフロー効果を防止し、レーザ

発光のしきい値電流密度を低減することができる。

【0087】さらに活性層の平均組成とガイド層の組成との差が界面に近い領域において減少するため、界面に生じる実効的なヘテロ障壁が低くなり、キャリアオーバーフローの抑制効果を維持しつつ動作電圧を低減することができる。さらにキャップ層の付加による動作電圧の増加を最小限に抑制する効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光装置の構造を示す断面図。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光装置のMQW活性層、ガイド層、クラッド層の歪み効果を見視したバンド構造図。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光装置のMQW活性層、ガイド層、クラッド層の歪み効果を考慮したバンド構造図。

【図4】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置の構造を示す断面図。

【図5】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置のMQW活性層、ガイド層、クラッド層のバンド構造図。

【図6】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置のMQW活性層の平均In組成とバンド構造との関係を示す図。

【図7】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置の動作電圧のMQW井戸数依存性を、従来の半導体発光装置と比較した図。

【図8】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光装置のしきい値電流密度のMQW井戸数依存性を、従来の半導体発光装置と比較した図。

【図9】本発明の第3の実施の形態に係るAlGaNキャップ層のAl組成に対する動作電圧のMQW井戸数依存性の変化を示す図。

【図10】本発明の第4の実施の形態に係る半導体発光装置のMQW活性層近傍領域のバンド構造図。

【図11】従来のMQW活性層を有する半導体発光装置の断面図。

【図12】従来の半導体発光装置のMQW活性層近傍領域のバンド構造図。

【図13】半導体発光装置を構成するInN、GaN、AlN混晶の格子定数とバンドギャップの関係を示す図。

【図14】従来の半導体発光装置におけるMQW活性層のGaNガイド層と隣接する領域の歪みの影響を示すバンド構造図。

【図15】従来の半導体発光装置のMQW活性層の特徴を示すバンド構造図。

【符号の説明】

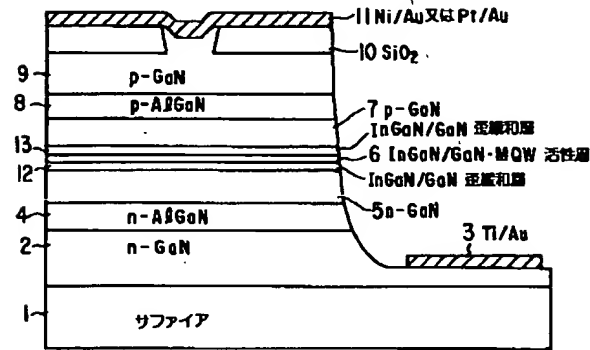
1…サファイア基板

2…n-GaNコンタクト層



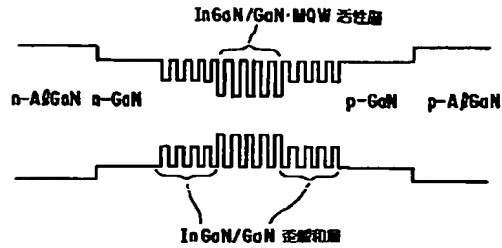
- 15  
 3...Ti/Au下部電極  
 4...n-AlGaInクラッド層  
 5...n-GaNガイド層  
 6...InGaIn/GaN、MQW活性層  
 7...p-GaNガイド層  
 8...p-AlGaInクラッド層

【図1】

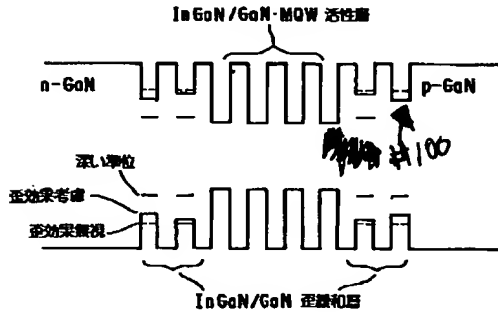


- 16  
 9...p-GaNコンタクト層  
 10...SiO<sub>2</sub>膜  
 11...Ni/Au又はPt/Au上部電極  
 12、13...InGaIn/GaN歪み緩和層  
 14、15...InGaIn組成変調層

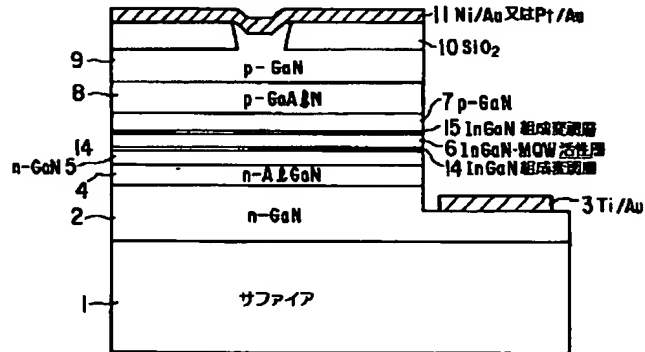
【図2】



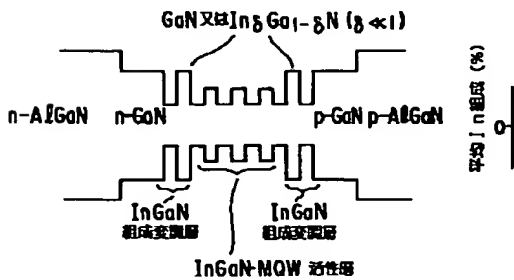
【図3】



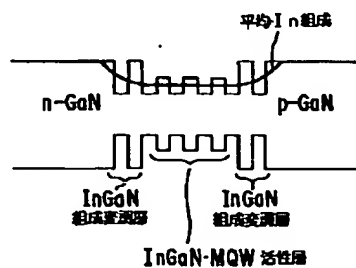
【図4】



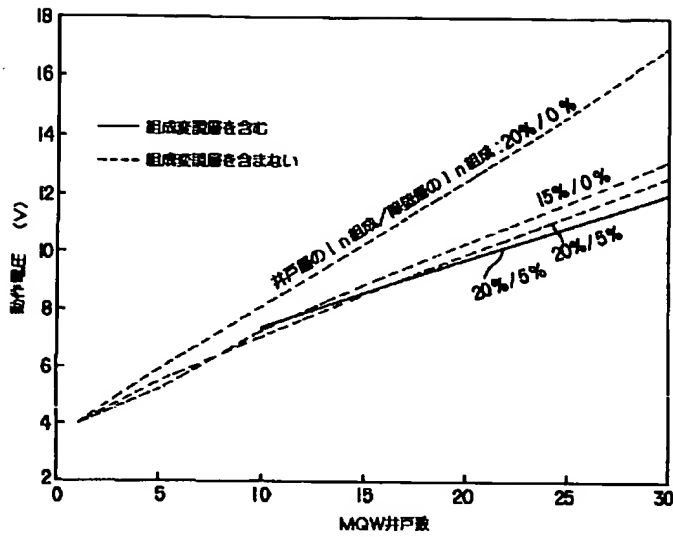
【図5】



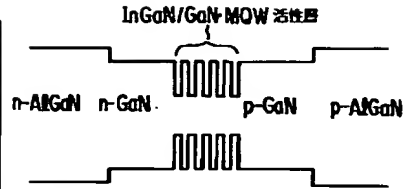
【図6】



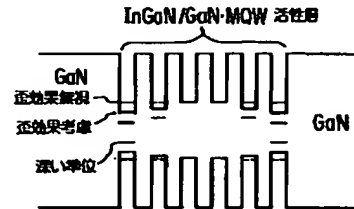
【図7】



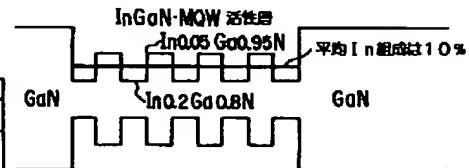
【図12】



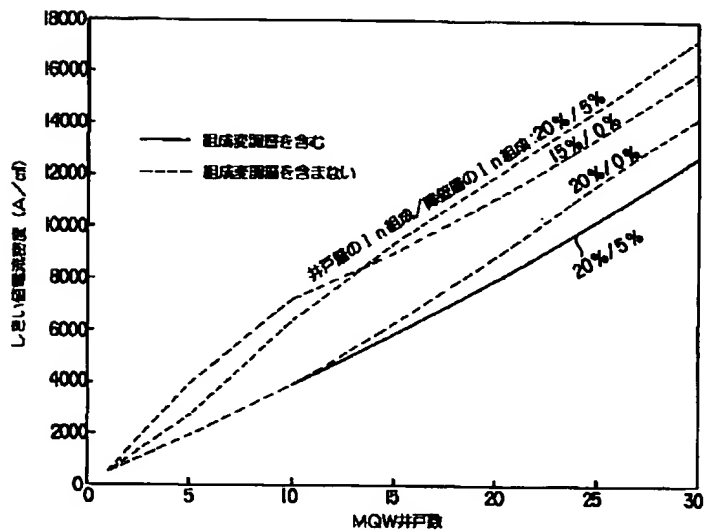
【図14】



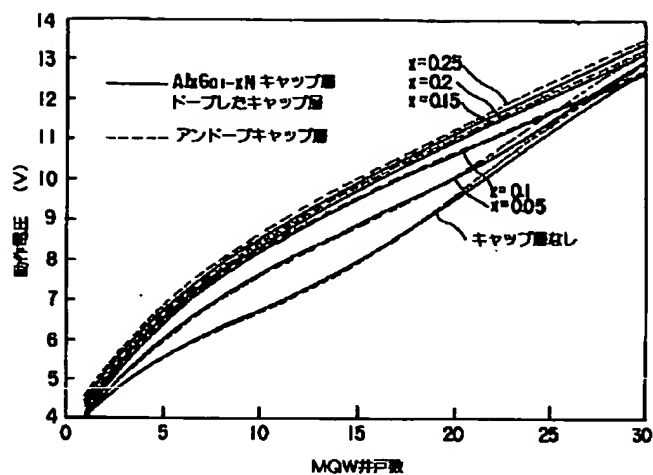
【図15】



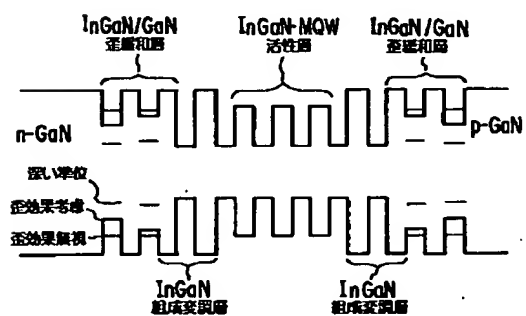
【図8】



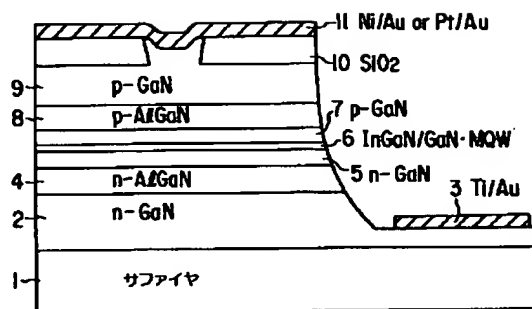
【図9】



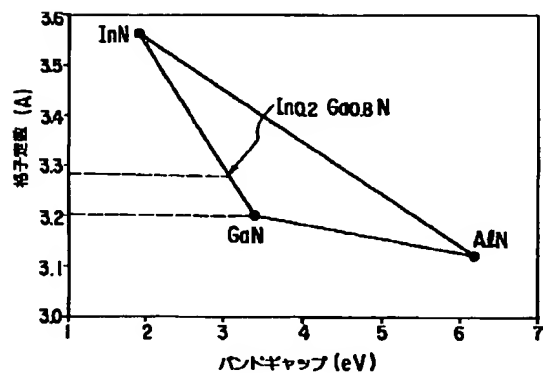
【図10】



【図11】



【図13】



\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] It is used for the GaN system semiconductor semiconductor luminescence equipment which this invention requires for semiconductor luminescence equipment, especially has low operating voltage and low threshold current density.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since GaN system semiconductor luminescence equipment succeeded in the crystal growth of p type GaN (it is called p-GaN for short below) by addition of Mg conventionally, commercialization has been advanced as the visible semiconductor laser and semiconductor light emitting diode (semiconductor laser is called LD for short below, and light emitting diode is called Light Emitting Diode for short) of ultraviolet and a blue field.

[0003] The main troubles of the GaN systems LD and Light Emitting Diode are that operating voltage is high and that the threshold current density of LD luminescence is large, and the luminous efficiency of a barrier layer does not show an original value. In the case of LD, a big distortion exists in the barrier layer (a following MQW barrier layer and abbreviated name) which has SCH (Separate Confinement Heterostructure) type MQW (Multi Quantum Well) quantum well structure, the quality of the crystal of a barrier layer deteriorating and the especially big distortion in some well layers of the beginning of a MQW barrier layer and some last well layers occur, the light emission of both ends and absorption shift to a long wavelength side compared with the center section of the aforementioned barrier layer, and the reason is for things.

[0004] It is eased in the well layer of the aforementioned outside, and distortion added from a guide layer and a clad layer reduces distortion which joins the center section of the MQW barrier layer. Compared with a center section, a band gap serves as smallness, the optical output from a MQW barrier layer is absorbed, the well layer of the outside where the amount of distortion is large is decreased, and the threshold current density of the GaN system LD increases it.

[0005] Moreover, by distortion added from the aforementioned guide layer and a clad layer, since a lattice defect occurs in an outside well layer, the electron and electron hole which were poured into the active region through the defective level produced according to this defect disappear by reunion, and the luminous efficiency of the GaN system LD falls. The same problem is seen also about the GaN system Light Emitting Diode which has a uniform barrier layer.

[0006] In order to avoid these troubles, the method of increasing the number of the well layers of a MQW barrier layer to 20 or more pieces conventionally has been taken. Thus, if the number of well layers is increased, the damping effect of the optical output by the reunion of the optical absorption of an outside well layer, an electron, and an electron hole can be thinned.

[0007] In addition, a hetero interface is formed between the well layers and barrier layers which constitute a MQW barrier layer, and a certain amount of defect occurs by grid mismatching in this hetero interface. If the number of well layers increases, many interfaces of a well layer and a barrier layer will be included in a MQW barrier layer, a recombination center will be introduced by generating of the defect in an interface into a MQW barrier layer, and optical gain will decrease.

[0008] For this reason, in the GaN system LD, in order to acquire sufficient gain required for LD luminescence in a MQW barrier layer, it has been thought that the number of well layers must be increased. However, if there are many wells of MQW, transportation of an electron and an electron hole will be barred, and the number of the well layers which actually contribute to LD luminescence is limited to two - about three pieces. In LD which follows, for example, has a III-V group's MQW barrier layer, the number of well layers with which the highest luminous efficiency is obtained has been made into ten or less pieces, when the most.

[0009] Although the need for read-out of a high-density optical disk and the short wavelength LD for writing is increasing in recent years, the luminescence wavelength of the InGaAlP system LD put in practical use now is about 600nm, and it is difficult to realize LD with a wavelength of 400nm - 430nm for which a next-generation DVD system is asked.

[0010] Not only the wavelength field of the above [ the GaN systems LD and Light Emitting Diode ] but the thing which may be further become the light source of short wavelength is known. However, compared with the material of the former systems / GaN / LD and Light Emitting Diode ], many technical issue points are included in the manufacture method. The main thing is that the lattice constants of GaN of main material and  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.3$ ) differ.

[0011] Although InGa (the suffix which shows composition is especially omitted except for the case of being required, below) is usually used as a barrier layer and GaN is used as a guide layer, since both grid mismatching is large, if average composition of In in a barrier layer exceeds 10%, the distortion in the interface of a barrier layer and a guide layer will

become large. If a 200 degrees C - about 400 degrees C temperature rise required for the p-GaN guide stratification is performed at this time, it is known experimentally that an InGaN barrier layer will deteriorate or break.

[0012] Therefore, although average composition of In in a barrier layer is usually made into 10% or less, also in this case, degradation of a barrier layer exists and the yield falls. Although degradation of a barrier layer is based on the aforementioned grid mismatching, it is considered to be one of the causes of other that In in others and a barrier layer moves or evaporates, for this reason, In composition in a barrier layer becomes uneven, and it becomes difficult to obtain LD of LD of low-battery operation, Light Emitting Diode, and low threshold current density.

[0013] the carrier overflow effect that an electron and an electron hole will be full of the active-region shell exterior which contributes to LD luminescence on the other hand if average composition of In is lowered -- being generated -- being easy -- since not only eye carrier \*\*\*\*\* but also optical confinement becomes bad, for the improvement in efficiency of LD luminescence, it is not desirable

[0014] Thus, in the present condition, a barrier layer with large In composition demanded from the both sides of eye carrier \*\*\*\*\* and optical confinement could not be used, but average In composition of the barrier layer of the GaN systems LD and Light Emitting Diode is limited to 10% or less (15% or less of In composition of a well layer).

[0015] Although the technology of protecting degradation produced in a barrier layer in the temperature up process at the time of p type guide layer formation by introducing a cap layer between a MQW barrier layer and p type guide layer, and preventing carrier overflow is also developed, in the present condition, it has come to prevent degradation completely.

[0016] moreover, since electron density tends to have produced the carrier overflow effect that an electron passes a barrier layer and flows to p lateral electrode since it is large and prevented this compared with hole density among the electrons and electron holes which constitute a carrier in the GaN system LD, Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (x> 0.1) needed to be used as the aforementioned cap layer, and since aluminum composition of a cap layer was large, the problem that where of operating voltage became high suited

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As described above, since the conventional GaN system LD had prepared superfluously the number of wells in a MQW barrier layer for the purpose of avoiding the influence of the distortion in a MQW barrier layer, it had the fault that the operating voltage and threshold current density of LD became excessive.

[0018] If there is no influence of distortion by the difference of the interior of a MQW barrier layer and a lattice constant with the circumference layer, the efficiency of LD luminescence of the direction with few wells will become high. this invention is made that the above-mentioned trouble should be solved, and tends to obtain the GaN system semiconductor luminescence equipment in which high luminous efficiency is shown with the few number of wells by removing the distorted influence which joins a MQW barrier layer.

[0019] Conventionally, grid mismatching with the guide layer which adjoins the barrier layer of the GaN systems LD and Light Emitting Diode and it was large, for this reason, when In composition of a barrier layer was large, deformation energy was accumulated to the interface of the aforementioned barrier layer and a guide layer, the lattice defect was generated inside the aforementioned interface field or the barrier layer, and quality LD was not obtained, but there was a problem that the yield was also bad. Moreover, when In composition of a barrier layer was small, it was easy to produce the carrier overflow effect, and there was a problem that LD with low threshold current density was unrealizable.

[0020] It aims at solving simultaneously two problems that the above conflicts, and offering the GaN system LD with low threshold current density with high quality [ the yield is high and ], and aiming at application to Light Emitting Diode by having been made that this invention should solve the above-mentioned trouble, and making it intervene with the well layer and barrier layer which have different In composition or different thickness from the well layer and barrier layer of this MQW barrier layer between a guide layer and a MQW barrier layer.

[0021]

[Means for Solving the Problem] The semiconductor luminescence equipment of this invention has the feature in preparing the well layer and barrier layer for absorbing the influence of distortion produced from the difference of a lattice constant in the field which adjoins a MQW barrier layer, a guide layer, or a clad layer. Thus, without increasing the number of wells of a MQW barrier layer, it can continue throughout a stripe-like barrier layer and uniform LD luminescence can be obtained.

[0022] The semiconductor luminescence equipment of this invention to moreover, the field which adjoins a MQW barrier layer, a guide layer, or a clad layer Prepare the well layer and barrier layer in which composition differs from the aforementioned MQW barrier layer, and it is made to become the guide layer or clad layer which average composition of the well layer and barrier layer adjoins closely. The feature is by extending the band-gap difference of a well layer and a barrier layer which distortion produced in the interface of a guide layer or a clad layer, and the aforementioned MQW barrier layer is decreased, and constitutes a MQW barrier layer simultaneously as an interface is approached to prevent the carrier overflow effect.

[0023] Specifically, the semiconductor luminescence equipment of this invention has the barrier layer which a barrier layer and a well layer turn into from the superstructure by which the laminating was carried out by turns, and the aforementioned barrier layer is characterized by the barrier layer and well layer of a center section of the aforementioned superlattice being what contains in a trailer either at least one barrier layer from which either composition and thickness differ at least, and a well layer.

[0024] The barrier layer which consists of the aforementioned superstructure preferably The barrier layer which consists of In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (0< x<=1, 0<=y<=1, 0<=x+y<=1), The well layer which consists of In<sub>z</sub>Al<sub>w</sub>Ga<sub>1-z-w</sub>N (x<z, 0< z<=1, 0

$z+w=1$ ) consists of a superlattice by which the laminating was carried out by turns, and it is characterized by the aforementioned composition being any one of at least  $x$  and the  $z$ .

[0025] The semiconductor luminescence equipment of this invention is characterized by \*\*\*\*\* which includes a laminating field with the average composition near composition of either a guide layer and clad with a well layer and a barrier layer compared with the center section of the barrier layer to the field to which the barrier layer which consists of a superstructure adjoins either a guide layer and a clad layer.

[0026] Moreover, the semiconductor luminescence equipment of this invention is characterized by including the laminating field where the barrier layer which consists of a superstructure extended the difference of the band gap of a well layer and a barrier layer to the field which adjoins either a guide layer and a clad layer compared with the center section of the barrier layer.

[0027] Moreover, it is preferably characterized by the barrier layer which the semiconductor luminescence equipment of this invention becomes from a superstructure possessing a cap layer between either a guide layer and a clad layer.

[0028]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, with reference to a drawing, the form of operation of this invention is explained in detail. The matter common to the form of each operation at the start is explained concretely. The cross-section structure of the GaN system LD developed now is shown in drawing 11. The GaN system LD is silicon on sapphire 1, the n-GaN KONTATO layer 2, the Ti/Au lower electrode 3, the n-AlGaIn clad layer 4, the n-GaN guide layer 5, the MQW barrier layer 6 (a following InGaIn/GaN-MQW barrier layer and abbreviated name) that consists of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaIn}$ , the p-GaN guide layer 7, the p-AlGaIn clad layer 8, the p-GaN contact layer 9, and  $\text{SiO}_2$ . It consists of a film 10 and a nickel/Au up electrode 11.

[0029] The barrier layer is usually constituted by the MQW barrier layer whose number of wells of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaIn}$  ( $0 < x < 0.3$ ) is about 20. an AlGaIn clad layer -- the value of a band gap -- large -- the barrier layer of eye carrier \*\*\*\*\* and an optical output -- it can close and eye \*\* can be performed

[0030] The multilayer structure from which the GaN system LD shown in drawing 11 constitutes LD is formed on silicon on sapphire. Moreover, it is  $\text{SiO}_2$  in order to reduce the threshold current density of LD luminescence. Stripe-like current constriction structure is formed using an insulator layer 10. In addition to this, other current constriction structures like for example, an embedding stripe type can also be used.

[0031] Drawing 12 is the band-structure view showing the detail near the active region of the aforementioned GaN system LD. Since it is easy, as for the number of wells, five cases are shown. The structure of the GaN system LD which has a MQW barrier layer as shown in drawing 12 from the structure of the usual double heterojunction type LD can be guessed.

[0032] However, since the difference of a lattice constant is between an active region and the light-guide field surrounding this, this restricts the structure of LD which has a MQW barrier layer. The relation between composition and the band gap of the material which constitutes the GaN system LD, and a lattice constant is shown in drawing 13.

[0033] The barrier layer of the GaN system LD is formed using  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , and GaIn and a clad layer are usually formed for a guide layer using  $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{N}$ . If a band gap and a lattice constant change along with the straight line which will connect the point of GaN of drawing, and the point of InN if  $x$  is changed from 1 to 0 in drawing 13 and  $y$  is changed from 1 to 0, a band gap and a lattice constant will change along with the straight line which connects the point of GaN, and the point of AlN.

[0034] In order to raise the luminous efficiency of LD, it is necessary to establish the difference of a fixed band gap between a barrier layer and a waveguide and between a waveguide and a clad layer. Since the inclination to the horizontal axis of the straight line which connects GaN and InN from drawing 13 is large compared with an inclination with the horizontal axis of the straight line which connects GaN and AlN, it is understood that the difference of the lattice constant between a GaN waveguide and an InGaIn barrier layer is larger compared with the difference of the lattice constant between a GaN waveguide and AlGaIn clad to the difference of a band gap of the same grade. In addition, the grade of the grid mismatching produced as an example between the barrier layer in composition  $x=0.2$  of an  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  barrier layer and a GaN waveguide is shown by drawing 13.

[0035] Thus, if its attention is paid to distortion added from the charge of an edge strip to an InGaIn barrier layer, what is depended on the GaN waveguide which adjoins the aforementioned InGaIn barrier layer is large, and what is added from composition change of an AlGaIn clad layer compared with this is small. Therefore, also about an InGaIn/GaN-MQW barrier layer, it can read that distortion is similarly accumulated by grid mismatching with a GaN guide layer at the interface of the aforementioned MQW barrier layer and a guide layer in drawing 13.

[0036] Although the above-mentioned explanation described the case where adjoin the upper and lower sides of a MQW barrier layer, and a GaN guide layer was formed, adjoined the upper and lower sides further, and an AlGaIn clad layer was formed, the structure of the GaN systems LD and Light Emitting Diode is not necessarily limited to this, and when a clad layer adjoins a barrier layer, or when a guide layer and a clad layer adjoin a uniform barrier layer, various combination exists.

[0037] for example, \*\* which drawing 13 to both grid mismatching is large, and distortion accumulates to the interface also about the case where an AlGaIn clad layer adjoins a MQW barrier layer directly -- it is clear Moreover, even if a barrier layer is not MQW structure but is uniform InGaIn, it turns out that distortion is accumulated at an interface with a GaN waveguide.

[0038] There is the method using a compound of 4 yuan like for example,  $\text{In}_z\text{Al}_w\text{Ga}_{1-z-w}\text{N}$  ( $0 \leq z+w \leq 1$ ) as a method of forming LD of grid distortion zero, and Light Emitting Diode. If  $z$  and  $w$  are controlled at this time, since only a band gap can be changed continuously, without changing the value of a lattice constant within the limits of three square shapes of drawing

12, LD of grid distortion zero and Light Emitting Diode can be designed theoretically.

[0039] However, controlling two composition parameters  $z$  and  $w$  to optimum conditions in fact, it is remarkably difficult to perform a good crystal growth, and the present condition is that the material property of a such 4 yuan system compound is not fully solved, either.

[0040] Therefore, in practice, the component of 2 yuan and 3 yuan of the GaN systems LD and Light Emitting Diode is limited to a compound, and a MQW barrier layer becomes the thing of structure as shown in drawing 14 by distortion produced by the above-mentioned grid mismatching. Namely, by distortion from a GaN waveguide, the band structure of the MQW barrier layer of the undistorted state which showed in drawing 12 deforms, and, as for an outside well layer, the width of face of a band gap becomes narrow compared with the well layer of a center section.

[0041] Drawing 14 shows that the light emitted from the well layer of a center section is absorbed in the well layer of the outside which the band gap reduced by distortion. Moreover, such distortion produces defective level between the bands of an outside well layer, and cannot disregard the optical absorption, either.

[0042] Next, based on drawing 1, the gestalt of operation of the 1st of this invention is explained. Drawing 1 is the cross section showing the structure of the GaN system LD which has a MQW barrier layer concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention. As described above, in order to solve the problem that the optical output of the well layer of a center section is absorbed by the outside well layer, the upper and lower sides of the InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>-MQW barrier layer 6 were adjoined, and the InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> strain relaxation layers 12 and 13 were introduced. In addition, as shown in drawing 2, the aforementioned strain relaxation layer also has a superstructure and it can be considered with a center section that the structure of the ends of a MQW barrier layer is the thing to which it was made to change.

[0043] The structure of other LD is the same as that of what was shown in drawing 11. The aforementioned InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> strain relaxation superlattices 12 and 13 act as a buffer layer which makes zero distortion which joins the MQW barrier layer 6 from a Ga<sub>N</sub> guide layer.

[0044] The band structure of the Ga<sub>N</sub> system LD concerning the form of operation of \*\*\*\* 1 which consists of the MQW barrier layer 6, the strain relaxation layers 12 and 13, Ga<sub>N</sub> waveguides 5 and 7, and AlGa<sub>N</sub> clad layers 4 and 8 is shown in drawing 2. However, in drawing 2, the distorted effect based on the difference of the lattice constant between the aforementioned material is not taken into consideration, but the band structure decided only by composition of material is shown.

[0045] The composition of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N which serves as a well layer of the MQW barrier layer 6 here is  $x = 0.2$ , and is within the limits of the value of  $x$  of the conventional typical Ga<sub>N</sub> system LD explained by drawing 1. the barrier layer of a MQW barrier layer -- Ga<sub>N</sub> -- or very small In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 < x < 0.05$ ) of In composition was used

[0046] Although the well layer in a strain relaxation layer was formed using In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $x = 0.05$ ), the In composition  $x$  was able to use the thing to the value of  $1/4 - 1/3$  of In composition of the well layer of a MQW barrier layer at this time. the barrier layer in a strain relaxation layer -- Ga<sub>N</sub> -- or very small In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 < x < 0.05$ ) of In composition was used The case where Ga<sub>N</sub> is used as a barrier layer in a strain relaxation layer is shown by drawing 2.

[0047] The number of wells of a strain relaxation layer becomes settled in composition of the material used as the well layer of a MQW barrier layer. It is distorted, so that the ratio of In composition of the well layer of a strain relaxation layer and In composition of the well layer of a MQW barrier layer is large, and an amount is large and must also enlarge the number of wells of the strain relaxation layer for making distortion into zero. However, effect sufficient by two to about five as a range of the aforementioned number of wells was acquired.

[0048] The band structure of the InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>-MQW barrier layer of the Ga<sub>N</sub> system LD in the form of operation of \*\*\*\* 1 in consideration of the distorted effect, an InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> strain relaxation layer, and a Ga<sub>N</sub> waveguide is shown in drawing 3. Thus, if the material of the well layer in a strain relaxation layer is chosen appropriately, even if it takes a distorted effect into consideration, the band gap of the aforementioned strain relaxation layer can maintain a bigger value than the band gap of a MQW barrier layer.

[0049] Moreover, as the deep level of the defect produced in the aforementioned strain relaxation layer by distortion is also shown in drawing 3, it will be located in the outside of the band gap of a MQW barrier layer, and it turns out that the probability of the carrier reunion by the deep level of a defect can be disregarded compared with the probability of the direct recombination of the carrier in a MQW barrier layer.

[0050] Next, based on drawing 4 or drawing 6, the form of operation of the 2nd of this invention is explained. In composition of a well layer is larger than In composition of a barrier layer so that clearly from drawing 13. A MQW barrier layer usually consists of repeats of about three to 30 well layer, and a barrier layer.

[0051] A guide layer usually consists of Ga<sub>N</sub> of a monolayer, and a clad layer consists of Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 < x \leq 0.3$ ). If average In composition of a MQW barrier layer exceeds 10%, distortion arises in the interface of a MQW barrier layer and a guide layer, and it is known that a quality MQW barrier layer will not be obtained.

[0052] As shown in drawing 12, since composition and thickness of a well layer and a barrier layer are fixed, in an InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>-MQW barrier layer, the band gap which a well layer shows, and the band gap which a barrier layer shows are usually kept constant in a barrier layer, respectively.

[0053] Drawing 6 shows typically In composition of a well layer [ a MQW barrier layer and near / its / the Ga<sub>N</sub> system LD of the structure shown in drawing 4 ], In composition of a barrier layer, average In composition of a barrier layer, and a band gap. In the form of the 2nd operation, the case where the MQW barrier layer (a following InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and abbreviated name) which consists of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/Iny Ga<sub>1-y</sub>N is used is explained.



[0054] 4nm in 2nm in 20% of In composition of a well layer and thickness, 5% of In composition of a barrier layer, and thickness then and average composition of In at this time become about 10%. Thus, it was difficult for average composition of In to be close to 10%, or for distortion which is produced between an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and a Ga<sub>N</sub> guide layer with it [ more than ] to become excessive, and to obtain the quality Ga<sub>N</sub> system LD.

[0055] In order to solve this problem, in the form of operation of \*\*\*\* 2, the Ga<sub>N</sub> system LD of the cross-section structure shown in drawing 4 was made as an experiment. The difference from the conventional structure of drawing 11 between the MQW barrier layer (a following InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and abbreviated name) 6 which consists of In<sub>x</sub> Ga<sub>1-x</sub> N/In<sub>y</sub> Ga<sub>1-y</sub> N, and the Ga<sub>N</sub> guide layers 5 and 7 Compared with the barrier layer of the InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer 6, the composition modulation layers (a following InGa<sub>N</sub> composition modulation layer and abbreviated name) 14 and 15 which In composition of a barrier layer becomes from low In<sub>z</sub> Ga<sub>1-z</sub> N/In<sub>w</sub> Ga<sub>1-w</sub> N are formed. The feature is to have decreased average In composition [ near the interface of the aforementioned InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and a Ga<sub>N</sub> waveguide ] as a whole.

[0056] Band structures, such as an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer formed between the InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and the Ga<sub>N</sub> waveguide of the both sides, are shown in drawing 5 . Thus, in the form of operation of \*\*\*\* 2, since the amplitude of an energy band came to be modulated by keeping the periodicity of a MQW barrier layer fundamental and only changing composition of a barrier layer including an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and the InGa<sub>N</sub> composition modulation layer of the both sides, it decided to call the layer introduced between the aforementioned InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and the Ga<sub>N</sub> waveguide InGa<sub>N</sub> composition modulation layer.

[0057] Next, the result which performed the simulation about the threshold voltage and threshold current density of the Ga<sub>N</sub> system LD of operation of \*\*\*\* 2 is explained. [ of a form ] In this simulation, it was presupposed that it is Ga<sub>N</sub> In composition of the barrier layer in an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer in 0%, i.e., this barrier layer.

[0058] However, since it is [ from / when acquiring the multilayer structure of LD with quality not producing an abrupt change in the material physical properties of a well layer and a barrier layer ] desirable, the aforementioned barrier layer cannot be set to Ga<sub>N</sub>, but also let In be the barrier layer added about several%. However, when compared with In composition of the barrier layer in near the center of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer, it was made to decrease sharply In composition of the barrier layer in a composition modulation layer.

[0059] Drawing 5 is the \*\* type view showing the band structure of the barrier layer 6 of the Ga<sub>N</sub> system LD and the composition modulation layers 14 and 15 which are shown in drawing 4 , the guide layers 5 and 7, and the clad layers 4 and 8. Signs that the difference of the band gap of a well layer and a barrier layer spreads compared with near a MQW barrier-layer center in the InGa<sub>N</sub> composition modulation layer of the both ends of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer from drawing 5 are shown.

[0060] Drawing 6 takes out the near field of the barrier layer 6 of drawing 5 , and shows the relation of a band structure and average In composition. There is not only an operation which was stated with the form of the 1st operation and which eases the influence of distortion by the interface of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and a Ga<sub>N</sub> guide layer like, but the Ga<sub>N</sub> system LD which introduced the InGa<sub>N</sub> composition modulation layer into the both ends of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer as mentioned above has an advantage on the following thing properties as LD equipment.

[0061] The relation between the operating voltage of the Ga<sub>N</sub> system LD and the number of wells in an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer is shown in drawing 7 . The solid line of drawing is the case where it has an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer concerning the form of implementation of the above 2nd, and a dashed line is SHISHIMYURESHON about the conventional Ga<sub>N</sub> system LD which does not have the composition modulation layer shown for comparison. In this simulation, both the carrier densities of p type guide layer and p type clad layer calculated as  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ . in addition, the parameter given to each curve which shows a simulation result -- (In composition of In composition / barrier layer of a well layer) of the aforementioned InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer -- for example, (20% / 5%) -- etc. -- \*\*\*\*\* -- it is shown

[0062] As mentioned above, the barrier layer of an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer makes In composition of Ga<sub>N</sub> and its well layer equal to In composition of the well layer in the aforementioned InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer. The thickness of 2nm and a barrier layer of the well layer thickness used for the simulation is 4nm. Moreover, when a composition modulation layer is included, the number of MQW wells in case the number of MQW wells of the drawing 8 horizontal axis applies to the number of wells of a MQW barrier layer the number of wells contained in a composition modulation layer and a composition modulation layer is not included is the number of wells of a MQW barrier layer itself.

[0063] As shown in drawing 7 , the operating voltage of the Ga<sub>N</sub> system LD which has an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer increases with the increase in the number of wells. If it compares about 20% of values of the still more nearly same parameter, and 5%, compared with the operating voltage of the conventional Ga<sub>N</sub> system LD which does not contain a composition modulation layer, a bird clapper understands low the operating voltage of the Ga<sub>N</sub> system LD containing the composition modulation layer shown as a solid line with the increase in the number of MQW wells.

[0064] In LD of this invention which contains an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer between an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and a Ga<sub>N</sub> guide layer, when the barrier layer of the aforementioned composition modulation layer exists in the interface of the aforementioned barrier layer and the aforementioned guide layer, the reason operating voltage becomes low is because an efficiency hetero obstruction becomes gently-sloping in an interface, as shown in drawing 6 .

[0065] Next, the number dependency of MQW wells of threshold current density is shown in drawing 8 . Both the carrier densities of a p-Ga<sub>N</sub> guide layer and a p-AlGa<sub>N</sub> clad layer calculated as  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ . The meaning of the parameter given to other simulation conditions and each other curve is the same as that of drawing 7 .

[0066] As shown in drawing 8, the threshold current density of the GaN system LD which has a MQW barrier layer also increases with the increase in the number of MQW wells. However, when In composition ratios of a well layer / barrier layer are 20% / 5%, it turns out that threshold current density decreases no less than a maximum of 30% compared with the conventional GaN system LD in which the GaN system LD containing a composition modulation layer does not contain a composition modulation layer.

[0067] It turns out that a barrier layer with low In composition is prepared in the ends of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer from this, the overflow effect of a carrier will be suppressed if the value of the band gap of the aforementioned barrier layer which acts as a composition modulation layer is expanded from the barrier layer in a MQW barrier layer, and threshold current density decreases sharply.

[0068] If the simulation result of the conventional MQW barrier layer which does not contain in drawing 7 and drawing 8 the composition modulation layer shown with the dashed line is compared, to change of In composition ratio, the size relation of the operating voltage and operating current density in the number of the same wells is reversed, and it turns out in the conventional GaN system LD that reduction of operating voltage and reduction of threshold current density were technical problems which conflict mutually.

[0069] On the other hand, the big feature is in the MQW barrier layer in the form of operation of \*\*\*\* 2 containing a composition modulation layer to attain simultaneously operating voltage reduction and reduction of threshold current density. That is, it became clear that the most important technical problem begins by the MQW barrier layer containing the composition modulation layer shown in the form of operation of \*\*\*\* 2, and is attained when [ practical ] saying that it operates with the low battery and low threshold current density which have not been conventionally solved as a conflicting requirement.

[0070] Next, based on drawing 9, the gestalt of operation of the 3rd of this invention is explained. Although the AlGa<sub>N</sub> cap layer needed to be pinched between the barrier layer and p type guide layer in order to lower threshold current density conventionally, and the AlGa<sub>N</sub> cap layer is effective for reduction of threshold current density, to the purpose of operating voltage reduction, it is disadvantageous.

[0071] An Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N cap layer is made to intervene between an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer and a p-Ga<sub>N</sub> guide layer, and the result which searched for the number dependency of MQW wells of the operating voltage of the GaN system LD by the simulation is shown in drawing 9 about the case where the aluminum composition x of the aforementioned cap layer is changed. The structure of the GaN system LD used for this simulation differs from the GaN system LD which it shows that an AlGa<sub>N</sub> cap layer exists between the aforementioned InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer 6 and the p-Ga<sub>N</sub> guide layer 7 to drawing 11, when it is that a barrier layer is InGa<sub>N</sub>-MQW and  $x > 0$ .

[0072] The principal part of LD used for the aforementioned simulation The n-Ga<sub>N</sub> contact layer 2 (3 0.1 micrometers in 3x1018cm<sup>-3</sup> - thickness), The n-AlGa<sub>N</sub> clad layer 4 (3 0.3 micrometers in 1x1018cm<sup>-3</sup> - thickness), The i-Ga<sub>N</sub> guide layer 5 (0.1 micrometers in thickness) of undoping, In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N(2.5nm)/In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N (5nm) and the MQW barrier layer 6, p type, or an undoping i type Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N cap layer (3 20nm in 1x1016cm<sup>-3</sup> - thickness [ In the case / p / of type ]), p type or the undoping i type Ga<sub>N</sub> guide layer 7 (3 0.1 micrometers in 1x1016cm<sup>-3</sup> - thickness [ In the case / p / of type ]), It consists of an p-aluminum<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N clad layer 8 (3 0.3 micrometers in 1x1016cm<sup>-3</sup> - thickness), and a p-Ga<sub>N</sub> contact layer 9 (3 0.1 micrometers in 1x1017cm<sup>-3</sup> - thickness).

[0073] If a cap layer is added as shown in drawing 9, operating voltage will increase compared with the case where there is no cap layer. If the aluminum composition x of a cap layer is increased, since the obstruction height of the aforementioned cap layer will increase, it turns out that operating voltage increases. Although the difference with the case where it considers as the case where a cap layer and a guide layer are made into conductivity, and an undoping i type is small, the direction made into conductivity can make operating voltage low a little.

[0074] the GaN system LD in the gestalt of the 3rd operation tends to attain optimization, suppressing the increase in operating voltage according to the synergistic effect of the reduction effect of the threshold current density of the composition modulation layer explained with the gestalt of implementation of the above 2nd, and the reduction effect of the threshold current density of the aforementioned cap layer, and tends to obtain the GaN system LD which is a low power

[0075] Namely, if the aforementioned cap layer is further used between the waveguides which adjoin the aforementioned composition modulation layer and this in case [ in which the composition modulation layer of the form of the 2nd operation is included ] GaN system LD production is carried out It becomes unnecessary to use an Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0.1 \leq x \leq 0.2$ ) cap layer with large aluminum composition currently conventionally searched for for threshold current density reduction. Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N with small aluminum composition ( $x \leq 0.05$ ) -- it can use -- the simulation result of drawing 9 shows that it is very effective for operating voltage reduction At this time, it cannot be overemphasized as an operation of a cap layer that threshold current density falls further compared with the case where this cap layer does not exist.

[0076] Next, based on drawing 10, the form of operation of the 4th of this invention is explained. The GaN system LD in the form of operation of \*\*\*\* 4 tends to demonstrate both advantage in multiplication by combining an operation of the composition modulation layer explained with the operation of the strain relaxation layer explained with the form of implementation of the above 1st and the form of implementation of the above 2nd.

[0077] That is, as shown in drawing 10, an InGa<sub>N</sub> composition modulation layer is formed, the outside is adjoined further, an InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> strain relaxation layer is formed, the ends are adjoined [ the both sides of an InGa<sub>N</sub>-MQW barrier layer are adjoined, ], and a Ga<sub>N</sub> waveguide is formed.

[0078] If it does in this way, superfluous absorption is excludable by being able to set to about 0 distortion based on the

lattice constant difference between the MQW barrier layers which consist of a GaN waveguide and InGaN in the aforementioned MQW barrier layer by operation of the aforementioned strain relaxation layer and the aforementioned composition modulation layer, and making into within the limits of the outside of the band gap of the well layer of a MQW barrier layer all change of the defective level and the band gap which were produced in the aforementioned strain relaxation layer, in case it is distortion relief.

[0079] moreover, further useful to distorted reduction as an operation of the composition modulation layer which consists of InGaN -- remarkably, the carrier overflow effect can be suppressed and the threshold current density of the GaN system LD can be reduced sharply In order to reduce threshold current density, without furthermore raising operating voltage, it cannot be overemphasized that it is effective to combine the cap layer stated to the form of the 3rd operation.

[0080] In addition, this invention is not limited to the gestalt of the above-mentioned operation. In the gestalt of the above-mentioned operation, each of strain relaxation layers and composition modulation layers was formed in MQW structure, and the strain relaxation layer mainly made In composition of a well layer smaller than the well layer of a MQW barrier layer, and the composition modulation layer mainly made In composition of a barrier layer smaller than the barrier layer of the aforementioned MQW barrier layer, and the function is attained by controlling the value of a band gap, respectively.

[0081] Moreover, as a function of a composition modulation layer, composition and thickness of a barrier layer and a well layer were adjusted, and it was said that these average composition is brought close to the adjoining guide layer or a clad layer. however, in the SQW (Single Quantum Well) structure where MQW or the number of wells is one, the value of efficiency band GIPPU of a well layer should boil only not only composition of a well layer but well layer thickness in the field where especially well layer thickness is very small -- an intermediary can also change

[0082] Therefore, it can attain not only composition of the aforementioned strain relaxation layer, a composition modulation layer, and the layer that constitutes MQW for the same function but by changing thickness. It cannot be overemphasized by changing both thickness and In composition at this time that optimization of a function can be attained.

[0083] In the form of the above-mentioned operation moreover, as structure of a barrier layer, a strain relaxation layer, and a composition modulation layer Although the case where it was MQW which a well layer / barrier layer becomes from  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  ( $0 < x \leq 1$ ) or  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1, x > y, 0 < y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) was explained  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}/\text{In}_z\text{Al}_w\text{Ga}_{1-z-w}\text{N}$  (and  $x > z, 0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ , and  $0 \leq x+y \leq 1$  --) When using MQW which consists of  $0 < z \leq 1, 0 < w \leq 1$ , and  $0 \leq z+w \leq 1$ , the same function can be obtained by controlling composition of In.

[0084] Moreover, although this invention explained the GaN system LD which has a MQW barrier layer, it is not necessarily limited to the GaN system LD. this invention is altogether applicable if it is luminescence equipment which consists of a compound semiconductor which has a MQW barrier layer. Moreover, it is not limited to adjoining and forming the strain relaxation layer of this invention in a MQW barrier layer, and the same function can be demonstrated also to the GaN system Light Emitting Diode which has the barrier layer of the conventional uniform composition, for example. in addition, in the range which does not deviate from the summary of this invention, many things can be boiled, and it can deform and carry out

[0085] [Effect of the Invention] As mentioned above, according to the semiconductor luminescence equipment of this invention, the grid mismatching between a barrier layer, a guide layer, or a barrier layer and a clad layer is eased, and the distortion in an interface is decreased, and it becomes possible to produce the quality GaN system semiconductor luminescence equipment which operates with a low battery and low threshold current density by the high yield. Especially, when average In \*\* of a barrier layer is 10% or more, the effect excellent in the semiconductor luminescence equipment of this invention is demonstrated.

[0086] Moreover, in the field near the interface of a barrier layer and a guide layer, by carrying out vast [ of the difference of the band gap of the well layer in a barrier layer, and a barrier layer ], the efficiency of eye carrier \*\*\*\*\* can be raised, the carrier overflow effect can be prevented, and the threshold current density of laser luminescence can be reduced.

[0087] Operating voltage can be reduced the efficiency hetero obstruction produced in an interface becoming low, and maintaining the depressor effect of carrier overflow, in order to decrease in a field with the difference of average composition of a barrier layer, and composition of a guide layer still near an interface. There is an effect which furthermore suppresses the increase in the operating voltage by addition of a cap layer to the minimum.

---

[Translation done.]